

Оперативная оценка удельного сопротивления коллектора и глубины залегания коллекторного перехода при проектировании биполярных $p-n-p$ -транзисторов

© А.Н. Фролов, С.В. Шутов

Херсонский индустриальный институт,
325008 Херсон, Украина

(Поступило в Редакцию 13 октября 1997 г.)

При проектировании биполярных интегральных микросхем, дискретных $n-p-n$ -транзисторов часто необходимо определить структурные параметры по заданным коэффициентам усиления, частотным характеристикам, напряжениям пробоя конкретных переходов и т.д. Известные методики предлагают обратный подход, т.е. из технологических режимов определяются параметры структурных элементов (толщины активных областей, концентрации примеси в областях $p-n$ -переходов и т.п.) и затем по известным параметрам структуры электрические характеристики транзисторов [1,2]. Хотя при таком способе расчета наблюдается хорошее соответствие с экспериментом, его практическое применение не совсем удобно и требует проведения громоздких и повторяющихся расчетов.

В этой связи нами был предпринят ряд экспериментов по исследованию параметров планарных $n-p-n$ -транзисторов серийно выпускаемых микросхем с целью установления взаимосвязей между электрическими и структурными параметрами биполярных транзисторов. В качестве объектов исследования были выбраны планарные транзисторы интегральных микросхем КР514АП1 (примерный аналог SAA1060 фирмы "Philips"), УАОЗХП2, УАОЗХП1, КР1031ХА1 (схемы управления четырехфазными бесколлекторными двигателями различной мощности).

Статистические данные по глубине базовой диффузии (глубине залегания коллекторного перехода) $\chi_{j\sigma}$ и удельному сопротивлению эпитаксиального слоя (удельному сопротивлению коллектора) $\rho_{ep.f}$, а также измеренные значения напряжений пробоя переходов коллектор-база $U_{c.b.o}$ и эмиттер-база $U_{c.b.o}$ приведены в таблице.

Там же представлены расчетные значения коэффициента повышения пробивных напряжений κ .

Аналитическая обработка приведенных результатов позволила предложить для расчета глубины залегания коллекторного перехода выражение

$$\chi_{j\sigma} = 0.144 \cdot (U_{c.b.o}/\kappa)^{0.7}, \quad (1)$$

а выбор удельного сопротивления коллектора осуществлять по формуле

$$\rho_{ep.f} = 4.8 \cdot 10^{-4} (U_{c.b.o}/\kappa)^{1.92}. \quad (2)$$

Рассчитанные по формулам (1) и (2) значения χ_{jb} и $\rho_{ep.f}$ также приведены в таблице. При сравнении результатов расчета и статистических данных видно, что отклонение составляет не более 5%. Однако присутствие коэффициента κ в выражениях (1) и (2) требует перед проведением расчета $\rho_{ep.f}$ и χ_{jb} экспериментального определения величины напряжения пробоя коллекторного перехода (так как κ по определению есть отношение экспериментального значения $U_{c.b.o}$ к расчетному). Для упрощения процесса проектирования были проведены эксперименты по установлению взаимосвязи коэффициента κ с другими характеристиками планарных $n-p-n$ -транзисторов. На кремниевых структурах с эпитаксиальным слоем было изготовлено несколько партий планарных транзисторов. Удельное сопротивление эпитаксиальных слоев, легированных фосфором, составляло 2,4, 3,5, 4,5 $\Omega \cdot \text{cm}$. Базовые области формировались имплантацией бора с дозами 4, 15, 75, 450 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$. Температура разгонки выбиралась в пределах 1150–1180°C, время

Экспериментальные данные и результаты расчета глубины базовой диффузии и удельного сопротивления коллектора

Тип микросхемы	$U_{c.b.o}, \text{V}$	$U_{c.b.o}, \text{V}$	κ	Статистические данные		Расчетные данные	
				$\chi_{jb}, \mu\text{m}$	$\rho_{ep.f}, \Omega \cdot \text{cm}$	$\chi_{jb}, \mu\text{m}$	$\rho_{ep.f}, \Omega \cdot \text{cm}$
КР514АП1	7.0–7.2	30–33	1.04	1.5	0.3	1.52	0.305
УАОЗХП2	7.5–7.7	63–67	1.05	2.5	1.2	2.53	1.245
УАОЗХП1	7.8–7.9	83–87	1.055	3.2	2.0	3.11	2.095
КР1031ХА1	8.1–8.2	125–130	1.06	4.0	4.5	4.06	4.56

разгонки базовой примеси изменялось от 35 min при внедрении бора дозой $450 \mu\text{C}/\text{cm}^2$ до 650 min при дозе имплантации $4 \mu\text{C}/\text{cm}^2$. Эмиттерные области формировались единообразно для всех партий транзисторов диффузий фосфора при температуре 1040°C . Это позволило охватить широкий спектр значений глубин базовой диффузии и градиентов концентраций примеси в базовой области соответственно и напряжений пробоя эмиттерного перехода [3].

На основе обработки полученных экспериментальных данных выведена вполне определенная взаимосвязь между коэффициентом повышения пробивных напряжений κ и напряжением пробоя перехода эмиттер–база

$$\kappa = 1 + 3.6 \cdot 10^{-4} (U_{em.b.})^{2.45}. \quad (3)$$

Таким образом, при проектировании планарных $n-p-n$ -транзисторов по заданным значениям напряжений пробоя переходов коллектор–база и эмиттер–база полученные эмпирические выражения позволяют легко рассчитать глубину базовой диффузии и удельное сопротивление коллекторной области.

Список литературы

- [1] Федотов Я.А. Кремниевые планарные транзисторы. М.: Сов. радио, 1973. 336 с.
- [2] Гребен А.Б. Проектирование аналоговых интегральных схем. М.: Энергия, 1976. 435 с.
- [3] Самойлов Н.А., Фролов А.Н., Шутов С.В. // Письма в ЖТФ. 1996. Т. 22. Вып. 7. С. 36–38.